

ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ХВОИ ЕЛИ КОЛЮЧЕЙ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ЕЁ ПЫЛЕЗАДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

И. И. Паникаров, Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов

Нижегородский государственный агротехнологический университет
Российская Федерация, 603107, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97
E-mail: lesfak@bk.ru

Исследовали корреляцию и регрессию линейных параметров хвои ели колючей формы голубой (*Picea pungens* Engelm. f. *glauca*), формирующих листовую поверхность деревьев и обеспечивающих реализацию их пылезадерживающей способности. Актуальность работы определена насущной потребностью в оптимизации параметров воздушного бассейна мегаполисов, к числу которых принадлежит Нижний Новгород, в том числе в снижении уровня запыленности воздушного бассейна. Исходили из того, что решение указанной задачи лежит в плоскости создания систем городского озеленения из наиболее адаптированных и эффективных представителей местной дендрофлоры и экзотов, к числу которых принадлежат представители рода Ель (*Picea A. Dietr.*), а в их составе ель колючая форма голубая (*Picea pungens* Engelm. f. *glauca*). Цель исследования – выявить корреляцию и регрессию морфологических характеристик листового аппарата ели колючей в связи с определением её пылезадерживающей способности. Объектом исследований явились одновозрастные репродуктивно зрелые деревья ели колючей, произрастающие в трех функциональных зонах города с различным уровнем антропогенного загрязнения. По действующему лесорастительному районированию территория дислокации опытных участков относится к зоне хвойно-широколиственных лесов, хвойно-широколиственному лесному району Европейской части Российской Федерации (3 лесорастительный район). Работы проведены весной 2023 г. полевым стационарным и лабораторным методом с соблюдением принципа единственного логического различия и базовых требований к организации опыта: типичность, пригодность, целесообразность и надежность. Выявлен характер проявления, направленность и теснота взаимозависимости между рассматриваемыми признаками листового аппарата ели колючей. Отмечен широкий диапазон значений парных коэффициентов корреляции. Установлена положительная по знаку, достоверная связь длины хвои с площадью поверхности отдельной хвоинки ($r_{\pm tr} = 0,691 \pm 0,095$), а также с массой пыли в смыве с поверхности хвои в отдельном образце ($r_{\pm tr} = 0,310 \pm 0,125$). Зафиксировано принципиальное соответствие результатов регрессионного анализа полученным оценкам корреляций.

Ключевые слова: ель колючая, интродукция, объекты озеленения, параметры хвои, пылезадерживающая способность, корреляция, регрессия.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 6, P. 495–503

THE INTERDEPENDENCE OF THE PARAMETERS OF THE NEEDLES OF THE PRICKLY SPRUCE IN DETERMINING ITS DUST-HOLDING ABILITY

I. I. Panikarov, N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov

Nizhny Novgorod State Agrotechnological University
97, Gagarina Ave., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation
E-mail: lesfak@bk.ru

The correlation and regression of linear parameters of the needles of the blue prickly spruce (*Picea pungens* Engelm. f. *glauca*) forming the leaf surface of trees and ensuring the realization of their dust-retaining ability were investigated. The relevance of the work is determined by the urgent need to optimize the parameters of the air basin of megacities, among which Nizhny Novgorod belongs, including reducing the level of dustiness of the air basin. We proceeded from the fact that the solution of this problem lies in the plane of creating urban landscaping systems from the most adapted and effective representatives of the local dendroflora and exotics, among which are representatives of the genus Spruce (*Picea A. Dietr.*), and in their composition the prickly blue spruce (*Picea pungens* Engelm. f. *glauca*). The aim of the study is to identify the correlation and regression of morphological characteristics of the leaf apparatus of the prickly spruce in connection with the determination of its dust-retaining ability. The object of the research were reproductively mature trees of the same age of prickly spruce, growing in three functional zones of the city with different levels of anthropogenic pollution. According to the current forest-growing zoning, the territory of the deployment of experimental plots belongs to the zone of coniferous-deciduous forests, coniferous-deciduous forest area

of the European part of the Russian Federation (3 forest-growing area). The work was carried out in the spring of 2023. field stationary and laboratory methods in compliance with the principle of the only logical difference and the basic requirements for the organization of experience: typicality, suitability, expediency and reliability. The nature of the manifestation, orientation and closeness of the interdependence between the considered signs of the leaf apparatus of the prickly spruce are revealed. A wide range of values of paired correlation coefficients is noted. A sign-positive, reliable relationship was established between the length of the needles and the surface area of the individual needles ($r \pm mr = 0.691 \pm 0.095$), as well as with the mass of dust in the flushing from the surface of the needles in a separate sample ($r \pm mr = 0.310 \pm 0.125$). The fundamental correspondence of the results of regression analysis to the obtained estimates of correlations is recorded.

Keywords: prickly spruce, introduction, landscaping objects, parameters of needles, dust-retaining ability, correlation, regression.

ВВЕДЕНИЕ

Состояние воздушного бассейна современных городов далеко от уровня комфортности и соответствия требованиям санитарных норм [19; 20]. Не снизилась острота его загрязнения пылеватыми частицами и окислами углерода [19; 29; 36; 39; 40]. С особой остротой эти негативные эффекты проявляются в крупных мегаполисах [20; 21; 32], к числу которых можно отнести и Нижний Новгород с его развитой дорожно-транспортной сетью, промышленными предприятиями, теплостанциями и прочими компонентами инженерной инфраструктуры. Притом что преодоление означенных проблем нередко осложнено простыми организационно-техническими и финансово-экономическими аспектами или же спецификой градостроительства, специалисты, занятые в указанной сфере, располагают весьма надежными средствами решения задач, поставленных перед ними сложившейся ситуацией. Прежде всего, это системное и комплексное создание объектов озеленения, способных с успехом выполнять свои санитарно-гигиенические, декоративно-эстетические и рекреационно-бальнеологические функции [5; 20; 21; 32; 34]. Результативность проводимых в этой связи мероприятий во многом определяется корректностью формирования регионально адаптированного ассортимента древесных пород, что зачастую предполагает активное вовлечение в их состав интродуцентов. Таковыми являются многочисленные представители рода Ель (*Picea* A. Dietr.), как аборигенные в Среднем Поволжье ель европейская (*Picea abies* (L.) H. Karst.) и ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) [6; 8; 15; 16; 17; 18], так и интродуцированные в регион виды и декоративные формы: ель Глена (*Picea glehnii* (F. Schmidt) Mast.); ель канадская (*Picea glauca* (Moench) Voss); ель шероховатая (*Picea asperata* Masters); ель черная (*Picea mariana* Mill., Britton, Sterns & Poggenburg); ель колючая форма серебристая (*Picea pungens* Engelm., f. *argentea*); ель колючая форма голубая (*Picea pungens* Engelm., f. *glauca*); ель сербская (*Picea omorika* (Pančić) Purk.); ель Энгельмана (*Picea engelmannii* Parry ex Engelm.); ель колючая (*Picea pungens* Engelm.); ель аянская (*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière); ель корейская (*Picea koraiensis* Nakai) [8; 9; 14]. В последнее время здесь активизировались работы с елью Шренка (*Picea schrenkiana* Fisch. & C.A. Mey.) [7; 38]. В силу указанных обстоятельств они являются предметом всесторонних исследований [6; 8; 9; 13; 15–18; 25], в рамках которых глубокому ана-

лизу подвергаются особенности накопления и баланса запасных веществ [8; 9; 14; 22; 25], специфика содержания и соотношения пластидных пигментов фотосинтеза [3; 4; 6; 11; 17; 18; 26; 28], технологии семенного [12; 24] и вегетативного [23; 27] размножения, процессы производства посадочного материала [7; 10; 31; 38] и создания искусственных насаждений [30].

Цель исследования – выявить корреляцию и регрессию морфологических характеристик листового аппарата ели колючей в связи с определением её пылезадерживающей способности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований явились одновозрастные репродуктивно зрелые деревья ели колючей, произрастающие в трех функциональных зонах города с различным уровнем антропогенного загрязнения: в центральной части непосредственно у дорожного покрытия, во дворах на относительно отдалении от крупных автомагистралей и в зеленой зоне с наиболее благоприятными параметрами воздушного бассейна. По действующему лесорастительному районированию территория дислокации опытных участков относится к зоне хвойно-широколиственных лесов, хвойно-широколиственному лесному району Европейской части Российской Федерации (3 лесорастительный район). В нем сложились достаточно благоприятные для многих хвойных почвенные и климатические условия [2]. Гипотеза о потенциальном успехе интродукции широкого перечня инорайонных видов ели, включая ель колючую (*Picea pungens* Engelm.), в указанный регион базировалась на общеизвестном факте присутствия на его территории природных популяций наиболее значимых в хозяйственном плане видов – ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) [4; 6; 11; 15–18]. В зоне трансгрессии их естественных ареалов постоянно возникают фертильные межвидовые гибриды, получившие таксономическое обозначение как ель финская (*Picea × fennica* (Regel) Kom.) [1; 33; 35; 37; 41–43]. Здесь созданы их лесные культуры общего и специального назначения [3; 4; 11; 30], селекционно-семеноводческие объекты [6; 15–18].

Работы проведены весной 2023 г. полевым стационарным и лабораторным методом. Биологические образцы отобраны в двух высотных уровнях (1,8 м и 4,5 м) периферии среднего яруса хорошо освещенного участка кроны учетных деревьев, местоположение

которых дифференцировано относительно проезжей части дороги, как источника пылевого загрязнения. В каждой зоне учтено по 5 деревьев. Для оценки запыленности листовой поверхности с каждого из них отбиралось по 4 годичных побега без признаков аномального развития и повреждения хвои. Масса осевшей на хвое пыли определялась методом смыва, отстаивания и выпаривания в фарфоровой чаше на песчаной бане в вытяжном шкафу. Затем рабочую емкость с пылевым осадком взвешивали на аналитических весах, с последующим вычитанием массы самой чаши, зафиксированной ранее. Статистическая обработка первичной лесоводственной информации выполнена по общепринятым методическим схемам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выявлен характер проявления, направленность и теснота взаимозависимости между рассматриваемыми

признаками листового аппарата ели колючей, определяющими потенциал пылезадерживающей способности хвои (табл. 1–3).

Так, по одному из основных показателей, формирующих площадь поверхности и её способность осаживать и удерживать пылеватые частицы – длине хвои, замечено, что парные коэффициенты корреляций приобретали значения в достаточно широком диапазоне. Положительная по знаку, достоверная и заметная в оценках по шкале Чеддока связь длины хвои (признак 1) установлена с площадью поверхности отдельной хвоинки (признак 4): $r \pm m_r = 0,691 \pm 0,095$. Корреляция с массой пыли в смыве с поверхности хвои в отдельном образце (признак 6) также положительна, достоверна и является умеренной по той же шкале: $r \pm m_r = 0,310 \pm 0,125$. Остальные оценки заметно ниже, положительные и отрицательные по знаку и оказались недостоверными.

Таблица 1
Коэффициенты корреляция параметров хвои ели колючей¹

Показатель корреляции	Признаки							
	Признак 1	Признак 2	Признак 3	Признак 4	Признак 5	Признак 6	Признак 7	Признак 8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Признак 1 – длина хвоинки (2,00±0,040 см)								
r	1,000	–0,146	–0,243	0,691	0,195	0,310	0,242	–0,193
±mr	0,000	0,130	0,127	0,095	0,129	0,125	0,127	0,129
tr	999(9)	1,123	1,906	7,288	1,516	2,486	1,898	1,495
Признак 2 – диаметр хвоинки (0,98±0,019 мм)								
r	–0,146	1,000	0,639	0,555	0,455	–0,145	–0,363	0,238
±mr	0,130	0,000	0,101	0,109	0,117	0,130	0,122	0,128
tr	1,123	999(9)	6,331	5,082	3,886	1,116	2,966	1,866
Признак 3 – ширина хвоинки (0,83±0,017 мм)								
r	–0,243	0,639	1,000	0,440	0,329	–0,167	–0,279	0,154
±mr	0,127	0,101	0,000	0,118	0,124	0,129	0,126	0,130
tr	1,906	6,331	999(9)	3,728	2,656	1,293	2,210	1,183
Признак 4 – площадь поверхности отдельной хвоинки (5,16±0,119 см ²)								
r	0,691	0,555	0,440	1,000	0,489	0,149	–0,046	–0,008
±mr	0,095	0,109	0,118	0,000	0,115	0,130	0,131	0,131
tr	7,288	5,082	3,728	999(9)	4,273	1,148	0,347	0,061
Признак 5 – площадь смыва с поверхности хвои в отдельном образце (0,09±0,004 м ²)								
r	0,195	0,455	0,329	0,489	1,000	0,133	–0,366	0,850
±mr	0,129	0,117	0,124	0,115	0,000	0,130	0,122	0,069
tr	1,516	3,886	2,656	4,273	999(9)	1,023	2,993	12,290
Признак 6 – масса пыли в смыве с поверхности хвои в отдельном образце (0,03±0,002 г)								
r	0,310	–0,145	–0,167	0,149	0,133	1,000	0,823	0,144
±mr	0,125	0,130	0,129	0,130	0,130	0,000	0,075	0,130
tr	2,486	1,116	1,293	1,148	1,023	999(9)	11,026	1,105
Признак 7 – пылезадерживающая способность поверхности хвои (300,74±26,356 мг/м ²)								
r	0,242	–0,363	–0,279	–0,046	–0,366	0,823	1,000	–0,327
±mr	0,127	0,122	0,126	0,131	0,122	0,075	0,000	0,124
tr	1,898	2,966	2,210	0,347	2,993	11,026	999(9)	2,637
Признак 8 – количество хвоинок в одном образце (176,40±7,100 шт.)								
r	–0,193	0,238	0,154	–0,008	0,850	0,144	–0,327	1,000
±mr	0,129	0,128	0,130	0,131	0,069	0,130	0,124	0,000
tr	1,495	1,866	1,183	0,061	12,290	1,105	2,637	999(9)

¹Показатели: r – парный коэффициент корреляции Пирсона; ±mr – ошибка коэффициента корреляции; tr – критерий достоверности коэффициента корреляции; t₀₅ = 2,002 – предельное значение критерия достоверности на 5-процентном уровне значимости; t₀₁ = 2,663 – предельное значение критерия достоверности на 1-процентном уровне значимости.

Диаметр хвоинки (признак 2), также заметно влияющий на образование её листовой поверхности, имел свои особенности в формировании характера и размера связи при сохранении общих тенденций, отмеченных выше. Для него положительно направленная, достоверная и заметная в оценках по шкале Чеддока связь наблюдалась в отношении ширины отдельной хвоинки (признак 3) и площади её поверхности (признак 4): $r \pm mrg = 0,639 \pm 0,101$ и $r \pm mrg = 0,555 \pm 0,109$ соответственно. Связь с площадью смыва с поверхности хвои в отдельном образце (признак 5) и пылезадерживающей способностью поверхности хвои (признак 7) оказалась достоверной, умеренной по тесноте, положительной в первом случае и отрицательной во втором: $r \pm mrg = 0,455 \pm 0,117$ и $r \pm mrg = -0,363 \pm 0,122$. Другие оценки, как и в анализе предыдущего параметра, оказались значительно ниже, были недостоверными и разнонаправленными.

Наибольшая теснота связи, определяемая как высокая по шкале Чеддока, наблюдалась в сопоставлении динамики значений площади смыва с поверхности хвои в отдельном образце (признак 5) с изменениями количества хвоинок в одном образце (признак 8): $r \pm mrg = 0,850 \pm 0,069$. На этом фоне теснота его достоверной взаимозависимости с рядом иных характеристик оценивалась как умеренная ($r = 0,3 \dots 0,5$), положительная (признаки 2 – 4) и отрицательная (признак 7). Еще по двум параметрам (признаки 1 и 6) теснота связи слабая ($r = 0,1 \dots 0,3$) и недостоверная.

Сопоставимая по своей величине (высокая) и направленности (положительная) достоверная корреляция зафиксирована в отношении массы пыли в смыве с поверхности хвои в отдельном образце (признак 6) и пылезадерживающей способности поверхности хвои (признак 7): $r \pm mrg = 0,823 \pm 0,075$. При этом большая часть характеристик хвои (признаки 2–5, 8) не имела достоверных корреляций с рассматриваемым свойством (признак 6) при их слабой положительной (признаки 4, 5, 8) и отрицательной (признаки 2, 3) значимости. Минимальные оценки (очень слабая связь) отмечены в сопоставлении значений площади поверхности отдельной хвоинки (признак 4) с пылезадерживающей способностью хвои (признак 7) и количеством хвоинок в одном образце (признак 8): $r \pm mrg = 0,046 \pm 0,131$ и $r \pm mrg = 0,008 \pm 0,131$ соответственно. При их отрицательной направленности статистическая достоверность не была подтверждена. Оставшиеся варианты взаимосвязи характеристик листового аппарата учетных деревьев ели колючей, определяющих их пылезадерживающую способность на обследованных участках городских объектов озеленения, демонстрировали сохранение основных тенденций корреляции при вполне понятной специфике в каждом конкретном сочетании.

Регрессионный анализ, выполненный для полного перечня задействованных в опыте морфометрических характеристик и показателей пылезадерживающей способности хвои, позволил построить уравнения прямой линии, которые вполне удовлетворительно описывают зависимость изменений того или иного признака листового аппарата ели колючей от варьирования его других количественных параметров у

исследуемых растений (см. табл. 2). Связь длины хвои (признак 1) с её диаметром (признак 2): $y = -0,314x + 2,312$ ($R^2 = 0,0213$), шириной (признак 3): $y = -0,585x + 2,492$ ($R^2 = 0,0589$), а также с количеством хвоинок в одном образце (признак 8): $y = -0,001x + 2,195$ ($R^2 = 0,0371$) имеет отрицательную направленность и не может быть признана статистически надежной (см. табл. 2). Столь же ненадежна, но направлена положительно связь указанного параметра с площадью смыва с поверхности хвои в отдельном образце (признак 5): $y = 1,934x + 1,827$ ($R^2 = 0,0381$), массой пыли в смыве с поверхности хвои в отдельном образце (признак 6): $y = 6,182x + 1,848$ ($R^2 = 0,0965$), пылезадерживающей способностью хвои (признак 7): $y = 0,0004x + 1,893$ ($R^2 = 0,0585$).

Лишь в случае сопоставления с площадью поверхности отдельной хвоинки (признак 4) критерий достоверности аппроксимации приблизился к 50-процентному уровню надежности: $y = 0,233x + 0,801$ ($R^2 = 0,4780$). Другие линейные параметры хвои, такие как её диаметр (признак 2) или ширина (признак 3) обладали сходными тенденциями в формировании взаимозависимости с набором иных тестируемых характеристик.

Сравнительно надежные в статистическом плане оценки достоверности аппроксимации (см. табл. 3) получены в отношении площади смыва с поверхности хвои в отдельном образце (признак 5) и массы пыли в смыве с поверхности хвои в отдельном образце (признак 6) и пылезадерживающей способности хвои (признак 7). В первом случае такая взаимозависимость обнаружена с количеством хвоинок в одном образце (признак 8): $y = 0,0005x + 0,006$ ($R^2 = 0,7225$), а во втором – с пылезадерживающей способностью хвои (признак 7): $y = 0,00006x + 0,006$ ($R^2 = 0,6770$). Величины t -критерия коэффициентов перед аргументом (t_a) также подтвердили статистическую надежность построенных математических моделей. По остальным характеристикам листового аппарата, задействованным в схеме рассматриваемого опыта, уравнения оказались не столь убедительными (см. табл. 2, 3).

В целом, результаты регрессионного анализа адекватны итогам вычисления коэффициентов корреляции морфометрических параметров хвои ели колючей, связанных с её пылезадерживающей способностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ель колючая способна формировать в условиях г. Нижнего Новгорода хорошо развитый листовый аппарат, мощность которого обеспечивает эффективное выполнение её деревьями, достигшими репродуктивной фазы онтогенеза, пылезадерживающей функции. Морфометрические признаки хвои ели колючей, связанные с проявлением её пылезадерживающей способности, обладают значительной взаимозависимостью, что вскрыл корреляционный и регрессионный анализ. Наибольшая теснота связи зафиксирована между значениями площади смыва с поверхности хвои в отдельном образце и количеством хвоинок в нем, а также между массой пыли в смыве с поверхности хвои в отдельном образце и её пылезадерживающей способностью.

Таблица 2

Взаимозависимость параметров хвои и показателей её пылезадерживающей способности у ели колючей

Признаки	Уравнения	R ²	t-статистика коэффициентов		F ₀₅	Значимость
			a	b		
1	2	3	4	5	6	7
Признак 1 – длина хвоинки						
Признак 2	$y = -0,314x + 2,312$	0,0213	-1,123	8,316	1,262	0,26587
Признак 3	$y = -0,585x + 2,492$	0,0589	-1,906	9,612	3,633	0,06161
Признак 4	$y = 0,233x + 0,801$	0,4780	7,288	4,780	53,119	9,6E-10
Признак 5	$y = 1,934x + 1,827$	0,0381	1,516	14,915	53,119	0,13491
Признак 6	$y = 6,182x + 1,848$	0,0963	2,486	25,272	6,181	0,01581
Признак 7	$y = 0,0004x + 1,893$	0,0585	1,898	27,011	3,603	0,06264
Признак 8	$y = -0,001x + 2,195$	0,0371	-1,495	16,380	2,236	0,14027
Признак 2 – диаметр хвоинки						
Признак 1	$y = -0,068x + 1,119$	0,0213	-1,123	9,158	1,262	0,26587
Признак 3	$y = 0,715x + 0,387$	0,4086	6,331	4,052	40,079	3,9E-08
Признак 4	$y = 0,087x + 0,535$	0,3081	5,082	5,979	25,829	4,2E-06
Признак 5	$y = 2,090x + 0,794$	0,2066	3,886	15,361	25,829	0,00026
Признак 6	$y = -1,341x + 1,017$	0,0210	-1,116	28,781	1,246	0,26899
Признак 7	$y = -0,0003x + 1,061$	0,1317	-2,966	33,940	8,795	0,00438
Признак 8	$y = 0,001x + 0,874$	0,0566	1,866	14,192	3,482	0,0671
Признак 3 – ширина хвоинки						
Признак 1	$y = -0,101x + 1,037$	0,0589	-1,906	9,677	3,633	0,06161
Признак 2	$y = 0,571x + 0,273$	0,4086	6,331	3,041	40,079	3,9E-08
Признак 4	$y = 0,062x + 0,517$	0,1933	3,728	5,987	13,898	0,00044
Признак 5	$y = 1,353x + 0,712$	0,1084	2,656	14,540	13,898	0,01019
Признак 6	$y = -1,384x + 0,869$	0,0280	-1,293	27,622	1,673	0,20105
Признак 7	$y = -0,0002x + 0,887$	0,0777	-2,210	30,836	4,883	0,03108
Признак 8	$y = 0,0004x + 0,771$	0,0236	1,183	13,779	1,400	0,24157

Таблица 3

Регрессионная зависимость показателей пылезадерживающей способности хвои от других её параметров у ели колючей

Признаки	Уравнения	R ²	t-статистика коэффициентов		F ₀₅	Значимость
			a	b		
1	2	3	4	5	6	7
Признак 5 – площадь смыва с поверхности хвои в отдельном образце						
Признак 1	$y = 0,020x + 0,051$	0,0381	1,516	1,951	2,299	0,13491
Признак 2	$y = 0,099x - 0,006$	0,2066	3,886	-0,250	15,102	0,00026
Признак 3	$y = 0,080x + 0,024$	0,1084	2,656	0,943	7,055	0,01019
Признак 4	$y = 0,017x + 0,005$	0,2395	4,273	0,244	7,055	7,3E-05
Признак 6	$y = 0,268x + 0,084$	0,0177	1,023	10,937	1,046	0,31058
Признак 7	$y = -0,00006x + 0,108$	0,1338	-2,993	15,879	8,958	0,00405
Признак 8	$y = 0,0005x + 0,006$	0,7225	12,290	0,778	151,045	8,7E-18
Признак 6 – масса пыли в смыве с поверхности хвои в отдельном образце						
Признак 1	$y = 0,016 - 0,006$	0,0963	2,486	-0,485	6,181	0,01581
Признак 2	$y = -0,016x + 0,040$	0,0210	-1,116	2,899	1,246	0,26899
Признак 3	$y = -0,020x + 0,042$	0,0280	-1,293	3,173	1,673	0,20105
Признак 4	$y = 0,003x + 0,012$	0,0222	1,148	1,046	1,673	0,25587
Признак 5	$y = 0,066x + 0,019$	0,0177	1,023	3,062	1,046	0,31058
Признак 7	$y = 0,00006x + 0,006$	0,6770	11,026	3,010	121,565	7,4E-16
Признак 8	$y = 0,00004x + 0,018$	0,0206	1,105	2,637	1,222	0,27358
Признак 7 – пылезадерживающая способность поверхности хвои						
Признак 1	$y = 159,40x - 18,593$	0,0585	1,898	-0,109	3,603	0,06264
Признак 2	$y = -515,09x + 807,439$	0,1317	-2,966	4,677	8,795	0,00438
Признак 3	$y = -442,65x + 670,233$	0,0777	-2,210	3,963	4,883	0,03108
Признак 4	$y = -10,127x + 352,967$	0,0021	-0,347	2,312	4,883	0,72959
Признак 5	$y = -2387,4x + 517,829$	0,1338	-2,993	6,757	8,958	0,00405
Признак 6	$y = 10802,9x + 30,1283$	0,6770	11,026	1,045	121,565	7,4E-16
Признак 8	$y = -1,215x + 515,024$	0,1071	-2,637	6,056	6,956	0,01071

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Барзут О. С., Сурсо М. В. Радиальный рост ели (*Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* Ledeb.) в условиях горных разработок // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 2. С. 58–72. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-2-58-72.
2. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н., Храмова О. Ю., Клишина Л. И., Печникова Н. Д. Показатели химического и гранулометрического состава дерново-подзолистых почв под сосновыми лесами на территории заповедника «Керженский» Нижегородской области // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2 (26). С. 34–42.
3. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н., Щербаков А. Ю. Пигментный состав хвои ели европейской (*Picea abies*) в географических культурах // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. XXXIX, № 3. С. 161–166.
4. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н., Щербаков А. Ю. Популяционная структура географических культур ели европейской в оценках пигментного состава хвои // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 237. С. 113–134. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.113–134.
5. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Дифференциация пылезадерживающей способности кроны тополей // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. Вып. 5. С. 48–64. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-48-64.
6. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Ершов П. В. Генотипическая обусловленность пигментного состава хвои плюсовых деревьев ели европейской // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 1. С. 63–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63.
7. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Кентбаева Б. А., Кентбаев Е. Ж., Мамонов Е. И., Запольнов В. Е. Рост сеянцев ели Шренка (*Picea schrenkiana*) в условиях интродукции в Нижегородскую область // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 238. С. 67–87. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.67-87.
8. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Кулькова А. В., Мишукова И. В. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea A. Dietr.*) в условиях интродукции // Лесной журнал. Известия высших учебных заведений. 2017. № 4. С. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57.
9. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Кулькова А. В., Широков А. И. Корреляция содержания крахмала в тканях побегов представителей рода ель (*Picea A. Dietr.*) // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. № 2 (49). С. 19–22. DOI: 10.12737/article_5b34ff5f201623.29401443.
10. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Носов С. С. Влияние технологических элементов на рост и развитие сеянцев ели европейской при контейнерном выращивании // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии : матер. межд. науч.-практ. конф. : г. Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под общ. ред. Бессчетновой Н. Н. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2019. С. 107–114.
11. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Орнатский А. Н., Щербаков А. Ю. Корреляция показателей пигментного состава хвои ели европейской в географических культурах // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 1. С. 9–17.
12. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Храмова О. Ю., Дорожкина Л. А. Стимулирующий эффект препарата ЭкоФус в предпосевной обработке семян ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst) // Агрохимический вестник. 2017. № 2. С. 41–44.
13. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Худайбердина А. И. Накопление биомассы хвои представителями рода Ель в городских посадках Нижнего Новгорода // Интегрированное управление и мелиорация деградированных почв для обеспечения продовольственной безопасности: новые подходы и инновационные решения : матер. междунар. науч.-практ. конф., посвященной 105-летию Национального университета Узбекистана им. Мирзо Улугбека: г. Ташкент, 19–22 апреля 2023 г. Ташкент : Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека, 2023. С. 82–86.
14. Бессчетнова Н. Н., Кулькова А. В. Содержание запасных питательных веществ в клетках тканей годичных побегов представителей рода ель (*Picea L.*) в условиях Нижегородской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 6. С. 52–61. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.52.
15. Воробьев Р. А., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Тютин А. Н. Таксационные показатели клонов плюсовых деревьев ели европейской в архиве клонов в Нижегородской области // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 1. С. 12–23. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-1-12-2.
16. Воробьев Р. А., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Тютин А. Н. Варьирование и взаимосвязь таксационных показателей плюсовых деревьев ели европейской в архиве клонов на территории Нижегородской области // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2023. № 3. С. 53–69. DOI: 10.21178/2079-6080.2023.3.53.
17. Ершов П. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Пигментный состав хвои плюсовых деревьев ели европейской // Хвойные бореальной зоны. 2017. Том XXXVI, № 3. С. 29–37.
18. Ершов П. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Многомерная оценка плюсовых деревьев ели европейской (*Picea abies*) по пигментному составу хвои // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 233. С. 78–99.
19. Исаев А. С., Коровин Г. Н., Сухих В. И., Титов С. П., Уткин А. И., Голуб А. А., Замолотчиков Д. Г., Пряхников А. А. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. Москва : Центр экологической политики России, 1995. 156 с.
20. Коммонер Б. Замыкающийся круг: Природа, человек, технология. Ленинград : Гидрометеиздат, 1974. 279 с.
21. Кулагин Ю. З. Древесные растения и промышленная среда. Москва : Наука, 1974. 125 с.
22. Кулькова А. В. Межвидовая изменчивость представителей рода Ель (*Picea A. Dietr.*) по содержанию крахмала в тканях побегов // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 3(11). С. 28–34.

23. Кулькова А. В. Корреляция показателей корнеобразования и пострегенерационного развития черенков ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.) // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 3. С. 28–36. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.3.28.
24. Кулькова А. В., Бессчетнова Н. Н. Грунтовая всхожесть семян ели Шренка при интродукции в Нижегородскую область // Актуальные проблемы лесного комплекса : сборник научных трудов / под общ. ред. Е. А. Памфилова. Вып. 58. Брянск : БГИТУ, 2020. С. 97–100.
25. Кулькова А. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Многопараметрический анализ в оценке видоспецифичности представителей рода ель (*Picea*) // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 6. С. 23–38. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.23.
26. Кулькова А. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Многопараметрическая оценка таксономической близости видов ели (*Picea* A. Dietr.) по пигментному составу хвои // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 1(37). С. 5–18.
27. Кулькова А. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Применение стимулирующей обработки в укоренении черенков ели Коники // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 79–91. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.79-91.
28. Кулькова А. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Сезонные изменения пигментного состава хвои представителей рода ель в Нижегородской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. С. 22–39. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.22-39.
29. Курбанов Э. А. Углерододепонирующие насаждения Киотского протокола. Йошкар-Ола : Марийский гос. технологич. ун-т, 2007. 184 с.
30. Лабутин А. Н., Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н. Эффективность лесных культур сосны и ели, созданных в Нижегородской области в рамках реализации проекта «Леса Киото» // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы XVIII Международной научно-технической конференции: Вологда, 1 декабря 2020 г. / отв. ред. С. М. Хамитова. Вологда : ВоГУ, 2020. С. 72–74.
31. Лугинина Л. И., Бессчетнов В. П. Пигментация хвои сеянцев ели обыкновенной (*Picea abies* L.) с закрытой корневой системой // Актуальные проблемы лесного комплекса. Материалы XVIII-й международной научно-технической Интернет-конференции «Лес-2017»: г. Брянск, 1–30 мая 2017 г. : сборник научных трудов / под общ. ред. Е. А. Памфилова. Вып. 47. Брянск : БГИТУ, 2017. С. 131–137.
32. Ляховенко О. И., Чулков Д. И. Основные экологические проблемы российских городов и стратегия их разрешения // Русская политология – Russian political science. 2017. № 3 (4). С. 21–26.
33. Наквасина Е. Н., Прожерина Н. А. Оценка отклика на изменение климата в опытах с происхождениями *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.) на севере Русской равнины // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 1. С. 22–37. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-22-37.
34. Ньюмен А. Легкие нашей планеты. Москва : Мир, 1989. 335 с.
35. Gutkowska J., Borys M., Tereba A., Tkaczyk M., Oszako T., Nowakowska J. A. Genetic variability and health of Norway spruce stands in the Regional Directorate of the State Forests in Krosno // Forest Research Papers. 2017. Vol. 78, Is. 1. Pp. 56–66. DOI: 10.1515/frp-2017-0006.
36. Hager H., Haslinger R., Schume H. Productivity and LAI of floodplain forest sites in relationships to water supply // Ecology (Bratislava). Journal for ecological problem of the biosphere. 1999. Vol. 18, Supplement 1/1999. Pp. 5–14.
37. Hodgetts R. B., Aleksyuk M. A., Brown A., Clarke C., Macdonald E., Nadeem S., Khasa D. P. Development of microsatellite markers for white spruce (*Picea glauca*) and related species // Theoretical and Applied Genetics. 2001. Vol. 102, Is. 8. Pp. 1252–1258. DOI: 10.1007/s00122-001-0546-0.
38. Kul'kova A. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Kentbaev Y. Zh., Kentbaeva B. A. Growth of Schrenk's Spruce (*Picea schrenkiana*) Seedlings Related to the Pre-Sowing Stimulating Seed Treatment // Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 2022. № 4. С. 39–51. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-39-51.
39. Oszlanyi J. Consequences of anthropic impact on Danube floodplain forests in Slovakia // Ecology (Bratislava). Journal for ecological problem of the biosphere. 1999. Vol. 18, Supplement 1/1999. Pp. 103–110.
40. Palmroth S. Boreal forest and climate change – from processes and transport to trees, ecosystems and atmosphere // Silva Fennica. 2009. Vol. 43. Is. 4, article id. 461. Pp. 711–713. DOI: 10.14214/sf.461.
41. Scotti I., Magni F., Paglia G., Morgante M. Trinucleotide microsatellites in Norway spruce (*Picea abies*): their features and the development of molecular markers // Theoretical and Applied Genetics. 2002. Vol. 106, Is. 1. Pp. 40–50. DOI: 10.1007/s00122-002-0986-1.
42. Stojnić S., Avramidou E. V., Fussi B., Westergren M., Orlović S., Matović B., Trudić B., Kraigher H., Aravanopoulos F. A., Konner M. Assessment of genetic diversity and population genetic structure of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) at its southern lineage in Europe. Implications for conservation of forest genetic resources // Forests. 2019. Vol. 10, Is. 3. Article number 258. Pp. 1–15. DOI: 10.3390/f10030258.
43. Tóth E. G., Tremblay F., Housset J. M., Bergeron Y., Carcaillet C. Geographic isolation and climatic variability contribute to genetic differentiation in fragmented populations of the long-lived subalpine conifer *Pinus cembra* L. in the western Alps // BMC Evolutionary Biology. 2019. Vol. 19, Is. 1. Article number 190. Pp. 1–8. DOI: 10.1186/s12862-019-1510-4.

REFERENCES

1. Barzut O. S., Surso M. V. Radial growth of spruce (*Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* Ledeb.) in conditions of mining // Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 2023. No. 2. С. 58–72. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-2-58-72.
2. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N., Khramova O. Y., Klishina L. I., Pechnikova N. D. Indicators of chemical and granulometric composition of sod-podzolic soils under pine forests on the territory of the reserve

"Kerzhensky" of the Nizhny Novgorod region // Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. 2020. No. 2 (26). C. 34–42.

3. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N., Scherbakov A. Y. Pigment composition of European spruce (*Picea abies*) needles in geographical cultures // Conifers of the boreal zone. 2021. Vol. XXXIX, No. 3. C. 161–166.

4. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N., Scherbakov A. Y. Population structure of geographical cultures of European spruce in estimates of pigment composition of needles // Izvestiya St. Petersburg Forestry Academy. 2021. Issue 237. C. 113–134. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.113–134.

5. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Differentiation of the dust-retaining ability of poplar crowns // Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 2021. Issue 5. From 48–6. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-48-64.

6. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Ershov P. V. Genotypic conditionality of the pigment composition of the pigment composition of needles of plus trees of European spruce // Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 2019. No. 1. C. 63–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63.

7. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Kentbaeva B. A., Kentbaev E. J., Mamonov E. I., Zapolnov V. E. Growth of seedlings of Shrenka spruce (*Picea schrenkiana*) under conditions of introduction to Nizhny Novgorod region // Proceedings of St. Petersburg Forestry Academy. 2022. Issue 238. C. 67–87. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.67-87.

8. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Kul'kova A. V., Mishukova I. V. Starch content in tissues of shoots of different species of spruce (*Picea* A. Dietr.) under conditions of introduction // Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 2017. No. 4. C. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57.

9. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Kulkova A. V., Shirokov A. I. Correlation of starch content in the tissues of shoots of representatives of the genus spruce (*Picea* A. Dietr.) // Bulletin of Kazan State Agrarian University. 2018. No. 2 (49). C. 19–22. DOI: 10.12737/article_5b34ff5f201623.29401443.

10. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Nosov S. S. Influence of technological elements on the growth and development of European spruce seedlings under container cultivation // Economic aspects of the development of agro-industrial complex and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus. Proceedings of the international scientific-practical conference: Nizhny Novgorod, September 26, 2019 / edited by Besschetnova N. N. Nizhny Novgorod : Nizhny Novgorod State Forestry Academy, 2019. C. 107–114.

11. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Ornat-sky A. N., Scherbakov A. Yu. Correlation of indicators of the pigment composition of European spruce needles in geographical cultures // Conifers of the boreal zone. 2022. Vol. XL, No. 1. C. 9–17.

12. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Khramova O. Y., Dorozhkina L. A. Stimulating effect of EcoFus preparation in pre-sowing seed treatment of European spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) // Agrochemical Bulletin. 2017. No. 2. C. 41–44.

13. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Khudai-berdina A. I. Accumulated biomass are the precursors of the code in the horoscopes of Nizhny Novgorod // Integrated management and reclamation of decomposed mail for continuous security: new podods and innovative roots. Materials of intergovernmental science-practical conference organized on the 105th anniversary of the Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan: Tashkent, April 19–22, 2023. Education : Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, 2023. pp. 82–86.

14. Besschetnova N. N., Kulkova A. V. Content of spare nutrients in tissue cells of annual shoots of spruce (*Picea* L.) under the conditions of Nizhny Novgorod region // Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 2019. No. 6. C. 52–61. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.52.

15. Vorobyev R. A., Besschetnova N. N., Besschet-nov V. P., Tyutin A. N. Taxation indices of clones of European spruce plus trees in the archive of clones in the Nizhny Novgorod region // Conifers of the boreal zone. 2023. Vol. XLI, No. 1. C. 12–23. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-1-12-2.

16. Vorobyev R. A., Besschetnova N. N., Besschet-nov V. P., Tyutin A. N. Variation and interrelation of taxation indices of European spruce plus trees in the archive of clones on the territory of the Nizhny Novgorod region // Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry. 2023. No. 3. C. 53–69. DOI 10.21178/2079-6080.2023.3.53.

17. Ershov P. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Pigment composition of needles of plus trees of European spruce // Conifers of the boreal zone. 2017. Vol. XXXVI, No. 3. C. 29–37.

18. Ershov P. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Multivariate evaluation of plus trees of European spruce (*Picea abies*) by pigment composition of needles // Proceedings of St. Petersburg Forestry Academy. 2018. Issue 233. C. 78–99.

19. Isaev A. S., Korovin G. N., Sukhikh V. I., Titov S. P., Utkin A. I., Golub A. A., Zamolodchikov D. G., Pryazh-nikov A. A. Ecological problems of carbon dioxide absorption through reforestation and afforestation in Russia. Moscow : Center for Environmental Policy of Russia, 1995. 156 p.

20. Kommoner B. Closing the circle: Nature, man, technology. Leningrad : Gidrometeoizdat, 1974. 279 c.

21. Kulagin Yu. Z. Woody plants and industrial environment. Moscow : Nauka, 1974. 125 c.

22. Kul'kova A. V. Interspecific variability of representatives of the genus Spruce (*Picea* A. Dietr.) on the content of starch in shoot tissues // Bulletin of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. 2016. No. 3(11). C. 28–34.

23. Kul'kova A. V. Correlation of indicators of root formation and postregeneration development of cuttings of European spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) // Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 2018. No. 3. C. 28–36. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.3.28.

24. Kul'kova A. V., Besschetnova N. N. // Actual problems of forest complex / Under the general editorship of E. A. Pamfilov. Collection of scientific papers. Issue 58. Bryansk : BGITU, 2020. C. 97–100.

25. Kul'kova A. V., Besschetnova N. N., Besschet-nov V. P. Multivariable Analysis in the Assessment of

Spruce Species Specificity (*Picea*) // *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal). 2018. No. 6. C. 23–38. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.23.

26. Kul'kova A. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Multiparametric assessment of taxonomic closeness of spruce species (*Picea* A. Dietr.) by pigment composition of needles // *Vestnik PSTU. Series: Forest Ecology. Nature Management*. 2018. No. 1(37). C. 5–18.

27. Kul'kova A. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Application of stimulating treatment in rooting cuttings of Konica spruce // *Proceedings of St. Petersburg Forestry Academy*. 2020. Issue 232. C. 79–91. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.79-91.

28. Kul'kova A. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. // *Proceedings of St. Petersburg Forestry Academy*. 2021. Issue 235. C. 22–39. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.22-39.

29. Kurbanov E. A. Carbon-depleting plantations of the Kyoto Protocol. Yoshkar-Ola: Mari State Technological University, 2007. 184 c.

30. Labutin A. N., Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. // Actual problems of forest complex development. *Proceedings of the XVIII International Scientific and Technical Conference : Vologda, December 1, 2020 / Editor-in-Chief. Ed. S. M. Khamitova. Vologda : Vologda State University, 2020. C. 72–74.*

31. Luginina L. I., Besschetnov V. P. Pigmentation of needles of seedlings of the common spruce (*Picea abies* L.) with a closed root system // Actual problems of forest complex. *Proceedings of the XVIII International Scientific and Technical Internet Conference "Forest-2017": Bryansk, May 1–30, 2017 / Under the general editorship of E. A. Pamfilov. Collection of scientific papers. Issue 47. Bryansk : BGITU, 2017. C. 131–137.*

32. Lyakhovenko O. I., Chulkov D. I. Main environmental problems of Russian cities and the strategy for their resolution // *Russian political science*. 2017. № 3 (4). C. 21–26.

33. Nakvasina E. N., Prozherina N. A. Assessment of the response to climate change in experiments with the origin of *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.) in the north of the Russian Plain // *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal). 2023. No. 1. C. 22–37. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-22-37.

34. Newman A. *Lungs of our planet*. Moscow : Mir, 1989. 335 c.

35. Gutkowska J., Borys M., Tereba A., Tkaczyk M., Oszako T., Nowakowska J.A. Genetic variability and health of Norway spruce stands in the Regional Directorate of the State Forests in Krosno // *Forest*

Research Papers. 2017. Vol. 78, Is. 1. Pp. 56–66. DOI: 10.1515/frp-2017-0006.

36. Hager H., Haslinger R., Schume H. Productivity and LAI of floodplain forest sites in relationships to water supply // *Ecology (Bratislava). Journal for ecological problem of the biosphere*. 1999. Vol. 18, Supplement 1/1999. Pp. 5–14.

37. Hodgetts R. B., Aleksyuk M. A., Brown A., Clarke C., Macdonald E., Nadeem S., Khasa D. P. Development of microsatellite markers for white spruce (*Picea glauca*) and related species // *Theoretical and Applied Genetics*. 2001. Vol. 102, Is. 8. Pp. 1252–1258. DOI: 10.1007/s00122-001-0546-0.

38. Kul'kova A. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Kentbaev Y. Zh., Kentbaeva B. A. Growth of Schrenk's Spruce (*Picea schrenkiana*) Seedlings Related to the Pre-Sowing Stimulating Seed Treatment // *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal). 2022. No. 4. C. 39–51. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-39-51.

39. Oszlanyi J. Consequences of anthropic impact on Danube floodplain forests in Slovakia // *Ecology (Bratislava). Journal for ecological problem of the biosphere*. 1999. Vol. 18, Supplement 1/1999. Pp. 103–110.

40. Palmroth S. Boreal forest and climate change – from processes and transport to trees, ecosystems and atmosphere // *Silva Fennica*. 2009. Vol. 43. Is. 4, article id. 461. Pp. 711–713. DOI: 10.14214/sf.461.

41. Scotti I., Magni F., Paglia G., Morgante M. Trinucleotide microsatellites in Norway spruce (*Picea abies*): their features and the development of molecular markers // *Theoretical and Applied Genetics*. 2002. Vol. 106, Is. 1. Pp. 40–50. DOI: 10.1007/s00122-002-0986-1.

42. Stojnić S., Avramidou E. V., Fussi B., Westergren M., Orlović S., Matović B., Trudić B., Kraigher H., Aravanopoulos F. A., Konnert M. Assessment of genetic diversity and population genetic structure of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) at its southern lineage in Europe. Implications for conservation of forest genetic resources // *Forests*. 2019. Vol. 10, Is. 3. Article number 258. Pp. 1–15. DOI: 10.3390/f10030258.

43. Tóth E. G., Tremblay F., Housset J. M., Bergeron Y., Carcaillet C. Geographic isolation and climatic variability contribute to genetic differentiation in fragmented populations of the long-lived subalpine conifer *Pinus cembra* L. in the western Alps // *BMC Evolutionary Biology*. 2019. Vol. 19, Is. 1. Article number 190. Pp. 1–8. DOI: 10.1186/s12862-019-1510-4.

© Паникаров И. И., Бессчетнова Н. Н.,
Бессчетнов В. П., 2023

Поступила в редакцию 10.09.2023

Принята к печати 01.12.2023